

A14

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Gazette of Laid-Open Patent Publication (A)

(11) Laid-Open Patent Application No.

H7 - 229720

(43) Published : 29 August 1995

---

(51)Int. Cl. <sup>6</sup>	Identification symbol	Internal Ref. No.	FI Theme Code
G 01 B	11/24	C	
G 01 J	3/26		

Examination : not requested

No. of claims : 4 OL (Total : 6 pages)

---

(21) Application No.: H6-22332

(22) Application Date: 21 February 1994

(71) Applicant 000004237

Nihon Denki K.K.

Shiba 5-7-1, Minato-ku, Tokyo

(72) Inventor Ryoji Tanaka

c/o Nihon Denki K.K.

Shiba 5-7-1, Minato-ku, Tokyo

(74) Representative Naoki Kyomoto (and two others)

---

(54) [Title of the Invention] Three-dimensional shape measuring device

(57) [Abstract]

[Object] To measure a three-dimensional shape having minute convexo-concave patterns at high speed.

[Constitution] The three-dimensional shape measuring device comprises a dual-wavelength laser light source 2 for emitting dual-wavelength laser light 1; a chromatic aberration lens 5 for condensing the dual-wavelength laser light 1 onto a sample 4; and a light scanning unit 6 for deflecting the dual-wavelength laser light 1. Moreover, it also comprises an achromatic condensing lens 8 for condensing dual-wavelength laser light 1 separated by a half mirror 7; a pinhole 9 situated at the focal point of the achromatic condensing lens 8; a spectral sensor 10 for detecting the light passing through the pinhole 9, for each respective wavelength component; and a height detector circuit 14 for measuring the height of the sample 4 in the direction of the optical axis, from the light intensities for the respective wavelength regions output by the spectral sensor 10.

[Claims]

[Claim 1] A three-dimensional shape measuring device characterized in comprising:

a light source for emitting light containing a plurality of wavelengths;

a chromatic aberration object lens having chromatic aberration for condensing the light emitted from the light source in such a manner that it is focused at a focal point in the vicinity of a measurement object;

an achromatic lens subjected to correction of chromatic aberration for condensing light reflected at the surface of said measurement object and transmitted through said chromatic aberration object lens;

a pinhole disposed at the condensing spot position of the achromatic lens;

a light splitter for splitting the light transmitted by said pinhole and measuring the light intensity thereof in respective wavelength regions;

a height calculating circuit for measuring the height of said measurement object in the optical axis direction, from the light intensities of the respective wavelength regions output by the light splitter; and

scanning means for relatively scanning said condensing spot position of said chromatic aberration object lens and said measurement object.

[Claim 2] The three-dimensional shape measuring device according to claim 1, characterized in further comprising:

a corrective light splitter for splitting the light reflected by said measurement object and transmitted through said chromatic aberration object lens, before passing through said achromatic lens, and measuring the light intensity of the respective wavelength regions thereof;

light intensity correcting circuits for correcting the light intensities of the respective wavelength regions by calculating the ratio between the output of said light splitter and the output of said corrective light splitter, for each respective wavelength region; and

a height detecting circuit for measuring the height of said measurement object in the optical axis direction, from the corrected light intensities for each wavelength region output by the light intensity correcting circuits.

[Claim 3] The three-dimensional shape measuring device according to claim 1 or 2, characterized in that said light source is a laser light source generating a plurality of wavelengths simultaneously.

[Claim 4] The three-dimensional shape measuring device according to claim 1 or 2, characterized in that said

scanning means is means for deflecting light emitted from said light source.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Applicability]      The present invention relates to a three-dimensional shape measuring device, and more particularly, to a three-dimensional shape measuring device which is applicable to the measurement of finely processed three-dimensional shapes, such as semiconductor electronic components, or the like.

[0002]

[Prior Art]      Conventionally, confocal type laser scanning microscopes have been used as three-dimensional shape measuring devices of this kind, and many manufacturers have already released products of this type. Since a confocal laser scanning microscope has optical characteristics whereby only the light from the confocal plane is detected, as described in *Seimitsu Kogakkaishi* [Journal of the Japan Society for Precision Engineering] 57-7, 1991-07-1169, for example, it provides exceptionally high image selectivity in the direction of the optical axis, and therefore the three-dimensional shape of the object under observation can be reconstructed by computer processing of images in respective focal planes. In principle, this process obtains a three-dimensional shape by successively reading in images obtained by scanning the

sample in the optical axis direction with respect to the confocal microscope, and then taking the focal plane position at which the greatest light intensity is detected at the respective points in the plane, as the height of the sample.

[0003] Moreover, confocal scanning microscopes of this kind include spectral type scanning microscopes capable of measuring reflective spectral characteristics of a sample using a multiple-wavelength light source, such as that described in Japanese Patent Laid-open No. (Hei)1-188816.

[0004] Fig. 5 is a compositional diagram showing one example of such a spectral type scanning microscope. By referring to Fig. 5, the multiple-wavelength light 22 output by the multiple-wavelength light source 21 is reflected by the half mirror 23 and deflected towards the achromatic lens 24. The multiple-wavelength light 22 is condensed onto the sample 25 by an achromatic lens 24, and is reflected by the surface of the sample 25. The multiple-wavelength light 22 reflected by the sample 25 passes through the achromatic lens 24 and the half mirror 23, and is condensed onto a pinhole 26. Here, the pinhole 26 serves to construct a common focal system. The multiple-wavelength light 22 passing through the pinhole 26 is split spectrally by a chromatic aberration lens 27 and a stage 28, by means of interaction with a pinhole 29 which is movable on the optical axis. In other words,

achromatic  
lens (24)  
is on  
both  
incident  
&  
reflected  
side of  
sample

since the focal distance of the chromatic aberration lens 27 differs according to the wavelength, the focal position of the multiple-wavelength light 22 condensed by the chromatic aberration lens 27 is displaced in the optical axis direction, depending on the wavelength, and therefore the multiple-wavelength light 22 can be split spectrally according to the position of the pinhole 29. The light transmitted by the pinhole 29 is detected by an optical detector 30. If the signal of the optical detector 30 is obtained whilst scanning the sample 25 by means of the stage 31, then the spectral characteristics of the surface of the sample 25 can be displayed on a display device 32.

[0005] Since the conventional spectral type scanning microscope shown in Fig. 5 employs a confocal optics system, it has very high resolution in the direction of the optical axis, similarly to a monochromatic laser scanning microscope, and therefore cross-sectional observation in the direction of the optical axis is possible, and three-dimensional shapes can be measured according to similar principles.

[0006]

[Problems to be Solved by the Invention] The conventional scanning microscope described above is only able to obtain the image of one focal plane in a single image read-in operation, and therefore a large number of images must be input in order to measure a three-dimensional shape using

an optical cross-sectional observation, and hence a long period of time is required for measurement.

[0007]

[Means for Solving the Problem]      The three-dimensional shape measuring device according to the present invention comprises: a light source for emitting light containing a plurality of wavelengths; a chromatic aberration object lens having chromatic aberration whereby the light emitted from the light source is condensed in such a manner that it is focused at a focal point in the vicinity of a measurement object; an achromatic lens corrected for chromatic aberration for condensing light reflected at the surface of said measurement object and transmitted through said chromatic aberration object lens; a pinhole disposed at the condensing spot position of the achromatic lens; a light splitter for splitting the light transmitted by said pinhole and measuring the light intensity thereof in respective wavelength regions; a height calculating circuit for measuring the height of said measurement object in the optical axis direction, from the light intensities of the respective wavelength regions output by the light splitter; and scanning means for scanning said condensing spot position of said chromatic aberration object lens and said measurement object, with respect to each other.



[0008] Moreover, the three-dimensional shape measuring device according to the present invention further comprises: a corrective light splitter for splitting the light reflected by said measurement object and transmitted back through said chromatic aberration object lens, before it passes through said achromatic lens, and measuring the light intensity of the respective wavelength regions thereof; light intensity correcting circuits for correcting the light intensities of the respective wavelength regions by calculating the ratio between the output of said light splitter and the output of said corrective light splitter, for each respective wavelength region; and a height detecting circuit for measuring the height of said measurement object in the optical axis direction, from the corrected light intensities for each wavelength region output by the light intensity correcting circuits.

[0009]

[Embodiments] Next, the present invention is described with reference to the drawings. Fig. 1 is a compositional diagram showing one embodiment of the present invention. Referring to Fig. 1, the three-dimensional shape measuring device according to the present embodiment comprises: a dual-wavelength laser light source 2 for emitting dual-wavelength laser light 1; a beam shaper 3 for shaping the form of a beam of the dual-wavelength laser light 1; a

chromatic aberration object lens 5 having chromatic aberration whereby the dual-wavelength laser light 1 shaped by the beam shaper 3 is condensed in the vicinity of the face of the sample 4; a light scanning unit 6 disposed on the optical path between the beam shaper 3 and the chromatic aberration object lens 5, for deflecting the dual-wavelength laser light 1 and causing the condensed light spot formed by the chromatic aberration object lens 5 to scan over the sample 4; a half mirror 7, disposed on the optical path between the beam shaper 3 and the optical scanning unit 6, for reflecting and separating the light path of the dual-wavelength laser light 1 which is reflected by the surface of the sample 4 and is transmitted back through the chromatic aberration object lens 5 and optical scanning unit 6; an achromatic condensing lens 8 corrected for chromatic aberration, which condenses the dual-wavelength laser light 1 separated by the half mirror 7; a pinhole 9 disposed at the focal point of the achromatic condensing lens 8; a spectral sensor 10 for separating the dual-wavelength laser light 1 passing through the pinhole 9 into long-wavelength and short-wavelength components, and measuring the respective laser light intensities thereof; a mirror 11, disposed in the optical path between the half mirror 7 and the achromatic condensing lens 8, for reflecting and separating a portion of the dual-wavelength laser light 1

separated by the half mirror 7; a spectral sensor 12 for separating the dual-wavelength laser light 1 separated by the mirror 11 into long-wavelength and short-wavelength components, and measuring the respective laser light intensities thereof; light intensity correcting circuits 131 and 132 for correcting the respective laser light intensities by dividing the long-wavelength component laser light intensity and the short-wavelength components laser light intensity output by the spectral sensor 10, respectively, by the long-wavelength component laser light intensity and the short-wavelength component laser light intensity output by the spectral sensor 12; and a height detecting circuit 14 for calculating the height of the sample 4 irradiated with the dual-wavelength laser light 1, in the optical axis direction, from the corrected long-wavelength component laser light intensity and short-wavelength component laser light intensity output by the light intensity correcting circuits 131 and 132.

[0010] Next, the operation of the three-dimensional shape measuring device according to the present embodiment is described. The dual-wavelength laser light 1 emitted by the dual-wavelength laser light source 2 is shaped to an appropriate beam diameter by the beam shaper 3, in order that it be condensed to a prescribed beam diameter by the chromatic aberration object lens 5. Here, both the long-wavelength component and short-wavelength component

contained in the dual-wavelength laser light 1 must be shaped in a similar fashion, and therefore the beam shaper 3 must be corrected for chromatic aberration. The dual-wavelength laser light 1 shaped by the beam shaper 3 is deflected by the optical scanning unit 6 in such a manner that the condensed light spot scans over the sample 4. Here, the optical scanning unit 6 is an optical element, such as a galvano mirror, polygonal mirror scanner, or acousto-optical element, capable of scanning the laser beam at high speed and with high precision. Moreover, in order to measure the three-dimensional shape of the sample 4, it is necessary to scan the spot of dual-wavelength laser light 1 over the sample 4 in a planar fashion, and therefore the optical scanning unit 6 is constituted in such a manner that the dual-wavelength laser light 1 is scanned in a bi-directional fashion.

[0011] Fig. 2 is a lateral sectional diagram illustrating the condensation of the dual-wavelength laser light 1 by the chromatic aberration object lens 5. Referring to Fig. 2 in conjunction with Fig. 1, since the focal length of the chromatic aberration object lens 5 differs with the wavelength, there is a divergence between the positions at which the long-wavelength component and the short-wavelength component of the dual-wavelength laser light 1 are condensed. Due to variance of the refractive index in standard lens material, the focal

length increases at longer wavelengths and the focal length reduces at shorter wavelengths. In this embodiment, the focal length of the long-wavelength component is greater than that of the short-wavelength component, and the differential therebetween is taken as  $\Delta f$ .

[0012] The dual-wavelength laser light 1 reflected by the sample 4 passes back through the chromatic aberration object lens 5 and the light scanning unit 6, and is separated from the incident light path by the half mirror 7 disposed on the light path. The dual-wavelength laser light 1 separated by the half mirror 7 is condensed by the achromatic condensing lens 8. Since the achromatic condensing lens 8 is corrected for chromatic aberration, the focal length is uniform, regardless of wavelength, and the pinhole 9 is disposed at the focal point thereof. Therefore, in the confocal optics system constituted by the chromatic aberration object lens 5 and the achromatic condensing lens 8, since the position of conjugation with the position of the pinhole 9 differs between the long-wavelength component and short-wavelength component of the dual-wavelength laser light 1, the dual-wavelength laser light 1 that is transmitted through the pinhole 9 will contain reflected light from both the long-wavelength component image forming plane and the short-wavelength component image forming plane.

[0013] The spectral sensor 10 separates out the long-wavelength component and short-wavelength component of the dual-wavelength laser light 1 transmitted by the pinhole 9, and measures the light intensity of each, respectively. The spectral sensor 10 is constituted by a collimating lens 101 for collimating the dual-wavelength laser light 1 transmitted by the pinhole 9, a diffraction grating 102 for diffracting the dual-wavelength laser light 1, and photodetectors 103 and 104 disposed respectively at the position of the diffraction angle of the long-wavelength component of the dual-wavelength laser light 1, and the position of the diffraction angle of the short-wavelength component thereof. Here, the photodetector 103 obtains an image of the long-wavelength component image forming plane, and the photodetector 104 obtains an image of the short-wavelength component image forming plane.

[0014] Fig. 3 is a graph showing the relationship between the height of the sample 4 and the laser light intensities detected by the photodetectors 103 and 104. The horizontal axis of the graph indicates the height of the sample 4, and the vertical axis indicates the laser light intensity. For the sake of simplicity, it is assumed that the sample 4 is white and has no reflectivity differential according to wavelength. In the diagram, the solid line indicates the long-wavelength component laser light intensity detected by photodetector 103, and the

broken line indicates the short-wavelength component laser light intensity detected by photodetector 104. Referring to Fig. 3 in association with Fig. 1 and Fig. 2, since the focal length of the chromatic aberration object lens 5 according to the present embodiment is longer in the case of the long-wavelength component, this light is condensed at a more distant position from the chromatic aberration object lens 5 (a lower position on the sample 4). In a confocal microscope, virtually no light from outside the image forming plane is detected, and therefore the laser light intensity detected by the photodetector 103 and the laser light intensity detected by the photodetector 104 each form sharp peaks at the position of their respective image forming planes, these peaks being mutually separated by  $\Delta f$ . Therefore, two height positions can be determined simultaneously, from the respective peaks of the long-wavelength component laser light intensity and the short-wavelength component laser light intensity. Moreover, by determining the size of the pinhole 9 in such a manner that the light of both wavelength components can be detected between the peaks of the two wavelengths thus detected and determining the difference in the laser light intensity of the two wavelengths, it is also possible to measure the height of the sample 4 between the two image forming planes. In other words, by scanning the condensed light spot of the dual-wavelength laser light 1 over the

entire sample 4 by means of the optical scanning unit 6, it is possible to measure the three-dimensional shape of the sample 4.

[0015] Each sample 4 subjected to actual measurement has its own characteristic spectral reflection characteristics, and in general, the reflectivity thereof differs between the long-wavelength component and the short-wavelength component of the dual-wavelength laser light 1. In the present embodiment, in order to measure the spectral reflection characteristics of the sample 4, a portion of the dual-wavelength laser light 1 separated by the half mirror 7 is further separated by the mirror 11, and the long-wavelength component and short-wavelength component of the dual-wavelength laser light 1 thus separated is measured by the spectral sensor 12. This spectral sensor 12 is constituted by a diffraction grating 121 for diffracting the dual-wavelength laser light 1, and photodetectors 122 and 123 disposed respectively at the position of the diffraction angle of the long-wavelength component and the position of diffraction angle of the short-wavelength component of the separated dual-wavelength laser light 1.

[0016] Since the long-wavelength component intensity and the short-wavelength component intensity of the dual-wavelength laser light 1 irradiated onto the sample 4 are already known, the spectral reflection characteristics



relating to the respective wavelengths can be found from the outputs of the photodetectors 122 and 123. Consequently, by dividing the output of the photodetector 103 of the spectral sensor 10 by the output of the photodetector 122 of the spectral sensor 12, by means of a light intensity correcting circuit 131, and dividing the output of the photodetector 104 of the spectral sensor 10 by the output of the photodetector 123 of the spectral sensor 12, by means of a light intensity correcting circuit 132, it is possible to obtain a long-wavelength component intensity value and short-wavelength component intensity value which are corrected for the effects of the spectral reflection characteristics of the sample 4, from the light intensity correcting circuits 131 and 132. The height of the sample 4 can then be determined, independently of the spectral reflection characteristics of the sample 4, by calculating the difference between the long-wavelength component intensity and short-wavelength component intensity thus corrected for the spectral reflection characteristics of the sample 4, by means of a height calculating circuit 14.

[0017] In the present embodiment, dual-wavelength laser light was used, but it is also possible to use laser light having a greater number of wavelength components, in which case, an even broader height detection range and greater measurement accuracy can be expected. Moreover, in this

embodiment, a single laser light source emitting two wavelengths simultaneously was used, but it is also possible to use a plurality of laser light sources emitting different wavelengths, the plurality of laser beams being combined by means of a mirror having wavelength selectivity, such as a dichroic mirror.

[0018] In the present embodiment, the height between the image forming planes of two wavelengths was interpolated by calculation, but in order to achieve measurement of higher accuracy, it is beneficial to use a method whereby the image forming planes are moved at intervals equal to the height measurement resolution, images being read in at each position, and the height of the image forming plane having the highest luminosity being determined. By means of this method also, if dual-wavelength laser light is used as described in the embodiment, rather than performing optical cross-sectional observation using a single wavelength, the number of image read-in operations is halved, and the measurement time can therefore be shortened. As described above, by using laser light containing a greater number of wavelength components, the number of read-in operation of the images is reduced to  $1/N$  (where  $N$  is the number of wavelength components contained in the laser light) compared to a case where only one wavelength is used, and hence the measurement time is greatly shortened.

[0019] Fig. 4 is a compositional diagram showing a further embodiment of the present invention. Referring to Fig. 4, in this embodiment, laser lights 161 - 164 emitted by four laser light sources 151 - 154 generating laser light at mutually different wavelengths are combined by a dichroic mirror 171 - 173. Moreover, a spectral sensor 18 for detecting the laser lights 161 - 164 is constituted by a collimating lens 181 for collimating the laser lights 161 - 164, a diffraction grating 182 for diffracting and splitting the laser lights 161 - 164, and photodetectors 183 - 186 disposed respectively in positions corresponding to the diffraction angles of the wavelengths of the laser lights 161 - 164. Furthermore, a spectral sensor 19 for correcting the spectral reflection characteristics of the sample 4 is constituted by a diffraction grating 191 for diffracting and splitting the laser lights 161 - 164, and photodetectors 192 - 195 disposed respectively in positions corresponding to the diffractions angles of the wavelengths of the laser lights 161 - 164. The outputs of the spectral sensors 18 and 19 are input to light intensity correcting circuits 201 - 204, and corrected light intensities for the respective wavelength components are obtained. According to the three-dimensional shape measuring device illustrated in Fig. 4, four different image forming planes can be observed simultaneously, and therefore the number of image read-in operations is

reduced to  $1/4$  compared to a case where a three-dimensional shape is measured by means of a single wavelength, in optical cross-sectional observation.

[0020] Moreover, it is also possible to perform height measurement by using light having a continuous spectrum and detecting the wavelength at which the light intensity peaks, by means of a spectral sensor.

[0021]

[Merits of the Invention]As described above, according to the present invention, by using a chromatic aberration object lens together with light having a plurality of wavelengths, it is possible to detect the images of different image forming planes, simultaneously, and hence three-dimensional shape measurement of a sample can be performed at high speed.

[Brief Description of the Drawings]

Fig. 1 is a compositional diagram showing one embodiment of the present invention;

Fig. 2 is a side view showing dual-wavelength laser light in a condensed state, in this embodiment;

Fig. 3 is a graph showing the relationship between the height of a sample and light intensity, in this embodiment;

Fig. 4 is a compositional diagram showing a further embodiment of the present invention; and

Fig. 5 is a compositional diagram showing a prior art example.

[Description of the Symbols]

- 1 dual-wavelength laser light
- 2 dual-wavelength laser light source
- 3 beam shaper
- 4 sample
- 5 chromatic aberration object lens
- 6 optical scanning unit
- 7 half mirror
- 8 achromatic condensing lens
- 9 pinhole
- 10, 12, 18, 19 spectral sensor
- 101, 181 collimating lens
- 102, 121, 182, 191 diffraction grating
- 103 - 104, 122 - 123 optical detector
- 11 mirror
- 131 - 132, 201 - 204 light intensity correcting circuit
- 14 height detecting circuit
- 151 - 154 laser light source
- 161 - 164 laser light
- 171 - 173 dichroic mirror
- 183 - 186, 192 - 195 photodetector



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-229720

(43) 公開日 平成7年(1995)8月29日

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>

G 0 1 B 11/24

G 0 1 J 3/26

識別記号

国内整理番号

F I

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-22332

(22) 出願日 平成6年(1994)2月21日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 田中 良治

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

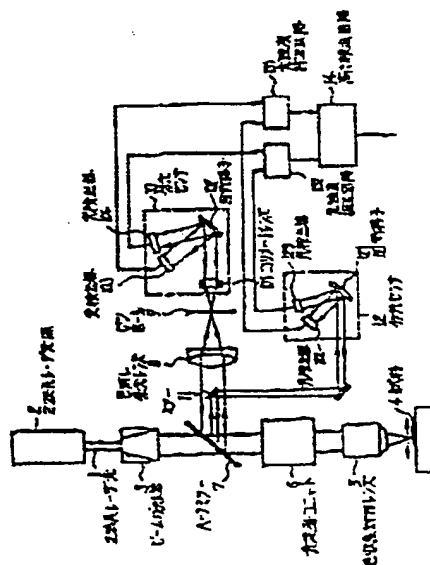
(74) 代理人 弁護士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 3次元形状測定装置

## (57) 【要約】

【目的】 微細な凹凸パターンの3次元形状を高速に測定する。

【構成】 この3次元形状測定装置は、2波長レーザ光1を出射する2波長レーザ光源2と、この2波長レーザ光1を試料4上に集光する色収差対物レンズ5と、2波長レーザ光1を偏向させる光走査ユニット6とを備える。また、ハーフミラー7で分離された2波長レーザ光1を集光する色消し集光レンズ8と、この色消し集光レンズ8の焦点位置に置かれているピンホール9と、このピンホール9を通過する光を各々の波長成分毎に検出する分光センサ10と、この分光センサ10から出力される各々の波長域の光強度から試料4の光軸方向の高さを測定する高さ検出回路14とを備える。







(2)

特開平 7-229720

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の波長を含む光を投光する光源と、この光源から投光される光を被測定物近傍に焦点を結ぶように集光する色収差を有する色収差対物レンズと、前記被測定物表面で反射し前記色収差対物レンズを通過する光を集光する色収差補正の施されている色消しレンズと、この色消しレンズの集光スポット位置に配置されているピンホールと、このピンホールを通過する光を分光し各々の波長域ごとの光強度を測定する分光器と、この分光器から出力される各々の波長域の光強度から前記被測定物の光軸方向の高さを測定する高さ演算回路と、前記色収差対物レンズの前記集光スポット点と前記被測定物とを相対的に走査せしめる走査手段とを備えることを特徴とする3次元形状測定装置。

【請求項2】 前記被測定物によって反射され前記色収差対物レンズを通過する光を前記色消しレンズを通過する前に分光し各々の波長域ごとの光強度を測定する補正用分光器と、前記分光器出力と前記補正用分光器出力との比を各々の波長域毎に計算し各々の波長域の光強度を補正する光強度補正回路と、この光強度補正回路から出力される各々の波長域毎の補正されている光強度から前記被測定物の光軸方向の高さを測定する高さ検出回路とを備えることを特徴とする請求項1記載の3次元形状測定装置。

【請求項3】 前記分光器が複数の波長を同時発光するレーザ光源であることを特徴とする請求項1または2記載の3次元形状測定装置。

【請求項4】 前記走査手段が前記光源から投光される光を偏向せしめる手段であることを特徴とする請求項1または2記載の3次元形状測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は3次元形状測定装置に関し、特に半導体電子部品などの微細加工の3次元形状測定に適用可能な3次元形状測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、この種の3次元形状測定装置には共焦点型レーザ走査顕微鏡があり、すでに多くのメーカーが商品化をしている。この共焦点型レーザ走査顕微鏡は、例えば精密工学会誌-57-7、1991-07-1169に示されるように、合焦点面からの光のみが検出されるという光学的特性から光軸方向の画像選択性が非常に高いため、各々の焦点面での画像をコンピュータ処理することによって、観察物の3次元形状を再構築することができる。これは原理的には、共焦点型顕微鏡に対し試料を光軸方向に走査して得られる画像を順次取り込み、面内の各々の点について検出される光強度が最大となる焦点面位置を試料の高さとしてすることにより3次元形状を得ている。

【0003】 さらに、この種の共焦点型走査顕微鏡に

は、特開平1-188816号公報に示されているような、多波長光源を使用し試料の反射分光特性を測定可能とした分光型走査顕微鏡がある。

【0004】 図5はこの分光型走査顕微鏡の一例を示す構成図である。図5を参照すると、多波長光源21から出射した多波長光22はハーフミラー23により反射され、色消しレンズ24へ向かう。多波長光22は色消しレンズ24で試料25上に集光され、試料25面上で反射される。試料25から反射される多波長光22は色消しレンズ24およびハーフミラー23を通過し、ピンホール26上に集光される。ここでピンホール26は共焦点系を構成するためのものである。ピンホール26を通過する多波長光22は色収差レンズ27とステージ28によって光軸上を移動し得るピンホール29との作用により分光される。すなわち、色収差レンズ27では焦点距離が波長によって異なるため、色収差レンズ27によって集光される多波長光22の焦点位置は波長により光軸方向にずれるので、ピンホール29の位置により多波長光22を分光することができる。ピンホール29を通過する光は光検出器30により検出される。試料25をステージ31により走査しながら光検出器30の信号を得れば、表示装置32は試料25表面の分光特性を表示できる。

【0005】 図5に示した従来の分光型走査顕微鏡は共焦点光学系が用いられているため、上述の単色光のレーザ走査顕微鏡と同様に光軸方向分解能が非常に高いので、光軸方向の断面観察が可能であり、同様の原理で3次元形状を測定することも可能である。

【0006】

【課題を解決しようとする課題】 上述の従来の走査顕微鏡は、1回の画像取り込みで1つの焦点面の画像しか得られないために、光学的な断面観察を利用して3次元形状を測定するには数多くの画像を入力しなければならないので、測定に時間がかかる。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の3次元形状測定装置は、複数の波長を含む光を投光する光源と、この光源から投光される光を被測定物近傍に焦点を結ぶように集光する色収差を有する色収差対物レンズと、前記被測定物表面で反射し前記色収差対物レンズを通過する光を集光する色収差補正の施されている色消しレンズと、この色消しレンズの集光スポット位置に配置されているピンホールと、このピンホールを通過する光を分光し各々の波長域ごとの光強度を測定する分光器と、この分光器から出力される各々の波長域の光強度から前記被測定物の光軸方向の高さを測定する高さ演算回路と、前記色収差対物レンズの前記集光スポット点と前記被測定物とを相対的に走査せしめる走査手段とを備える。

【0008】 また、本発明の3次元形状測定装置は、前記被測定物によって反射され前記色収差対物レンズを通

50



(3)

特開平 7-229720

3

送する光を前記色消しレンズを通過する前に分光し各々の波長域ごとの光強度を測定する補正用分光器と、前記分光器出力と前記補正用分光器出力との比を各々の波長域毎に計算し各々の波長域毎の光強度を補正する光強度補正回路と、この光強度補正回路から出力される各々の波長域毎の補正されている光強度から前記被測定物の光軸方向の高さを測定する高さ検出回路とを備えることを特徴とする。

【0009】

【実施例】次に、本発明について図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施例を示す構成図である。図1を参照すると、この実施例の3次元形状測定装置は、2波長レーザ光1を射出する2波長レーザ光源2と、2波長レーザ光1のビーム形状を成形するビーム成形器3と、このビーム成形器3で成形される2波長レーザ光1を試料4上面近傍に集光せしめる色収差を有する色収差対物レンズ5と、ビーム成形器3と色収差対物レンズ5との間の光路上に配置され2波長レーザ光1を偏向させて色収差対物レンズ5で形成される集光スポットを試料4上で走査させる光走査ユニット6と、ビーム成形器3と光走査ユニット6との間の光路中に配置され試料4面で反射され色収差対物レンズ5および光走査ユニット6を再び通過する2波長レーザ光1を反射し光路を分離するハーフミラー7と、このハーフミラー7で分離される2波長レーザ光1を集光する色収差補正の施されている色消し集光レンズ8と、この色消し集光レンズ8の焦点位置に配置されるピンホール9と、このピンホール9を通過する2波長レーザ光1を長波長成分と短波長成分とに分離し各々のレーザ光強度を測定する分光センサ10と、ハーフミラー7と色消し集光レンズ8との間の光路中に配置されハーフミラー7で分離される2波長レーザ光1の一部を反射し分離するミラー11と、このミラー11で分離される2波長レーザ光1を長波長成分と短波長成分とに分離し各々のレーザ光強度を測定する分光センサ12と、分光センサ10から出力される長波長成分レーザ光強度と短波長成分レーザ光強度とを分光センサ12から出力される長波長成分レーザ光強度と短波長成分レーザ光強度とでそれぞれ割り各々のレーザ光強度を補正する光強度補正回路131および132と、この光強度補正回路131および132から出力される補正された長波長成分レーザ光強度と短波長成分レーザ光強度とから2波長レーザ光1が照射されている試料4の光軸方向の高さを演算する高さ検出回路14とを含んで構成される。

【0010】次にこの実施例の3次元形状測定装置の動作について説明する。2波長レーザ光源2から射出される2波長レーザ光1は、色収差対物レンズ5によって所定のビーム径に集光させるために、ビーム成形器3によって適当なビーム径に成形される。ここで2波長レーザ光1に含まれる長波長成分および短波長成分とも同様

4

にビーム成形されなければならないので、ビーム成形器3は色収差補正が施されたものでなくてはならない。ビーム成形器3で成形された2波長レーザ光1は、試料4上を集光スポットが走査するように光走査ユニット6で偏向させる。ここで光走査ユニット6はガルバノミラー、ポリゴンミラースキャナ、あるいは音響光学素子のような、レーザビームを高速・高精度に走査させる光学素子である。また、試料4の3次元形状を測定するには2波長レーザ光1のスポットで試料4上を平面的に走査する必要があるため、光走査ユニット6は2波長レーザ光1を2方向に走査するように構成されている。

【0011】図2は色収差対物レンズ5による2波長レーザ光1の集光の様子を示す側面図である。図2を図1に併せて参照すると、色収差対物レンズ5は波長により焦点距離が異なるため、2波長レーザ光1の長波長成分と短波長成分とでは集光する位置がずれている。通常のレンズ材料の屈折率の分散では、長波長では焦点距離が長くなり、短波長では焦点距離が短くなる。この実施例においても短波長成分より長波長成分の焦点距離が長くなっていて、その差を $\Delta f$ とする。

【0012】試料4で反射される2波長レーザ光1は再び色収差対物レンズ5および光走査ユニット6を通過し、光路中に設けられているハーフミラー7によって入射光路から分離される。ハーフミラー7によって分離される2波長レーザ光1は色消し集光レンズ8によって集光される。色消し集光レンズ8は色収差補正が施されているため、焦点距離は波長によらず一定であり、この焦点の位置にピンホール9が配置される。したがって、色収差対物レンズ5と色消し集光レンズ8とで構成される共焦点光学系において、ピンホール9の位置と共役な位置は2波長レーザ光1の長波長成分と短波長成分とでは異なるため、ピンホール9を通過する2波長レーザ光1には、長波長成分の結像面と短波長成分の結像面とからの反射光が含まれることになる。

【0013】分光センサ10はピンホール9を通過する2波長レーザ光1を長波長成分と短波長成分とに分離し、各々の光強度を測定するものである。分光センサ10はピンホール9を通過する2波長レーザ光1をコリメートするコリメートレンズ101と、2波長レーザ光1を回折する回折格子102と、2波長レーザ光1の長波長成分に対応する回折角度の位置と短波長成分に対応する回折角度の位置とに配置される光検出器103および104とを含んで構成される。ここで、光検出器103では長波長成分の結像面の画像が得られ、光検出器104では短波長成分の結像面の画像が得られる。

【0014】図3は試料4の高さと光検出器103および104で検出されるレーザ光強度との関係を示すグラフである。グラフ横軸は試料4の高さ、縦軸はレーザ光強度を示している。簡単のために試料4は日色で波長による反射率の差はないものとしている。図中実線が光検

50



(4)

特開平 7-229720

5

出器103で検出される長波長成分のレーザ光強度で、試料4が光検出器104で検出される短波長成分のレーザ光強度を示している。図3を図1および図2に併せて参照すると、この実施例の色収差対物レンズ5では長波長成分の方が焦点距離が長いので色収差対物レンズ5からより遠い位置(試料4の低い位置)で集光する。共焦点顕微鏡の場合、結像面以外からの光はほとんど検出されないで、光検出器103で検出されるレーザ光強度と光検出器104で検出されるレーザ光強度は各々の結像面の位置で鋭いピークを示し、それらはΔfだけずれている。したがって、長波長成分のレーザ光強度と短波長成分のレーザ光強度の各々のピークから、2つの高さの位置を同時に求めることができる。また、図3に示すように、検出される2波長のピーク間で両方の波長の光が検出できるようにピンホール9の大きさを決定しておけば2つの波長のレーザ光強度の差を求めることにより、両者の結像面の間にある試料4の高さを測定することもできる。すなわち、光走査ユニット6によって2波長レーザ1の集光スポットを試料4上全体に渡って走査することにより、試料4の3次元形状を測定することができる。

【0015】実際に測定を行う試料4ではそれぞれ特有の反射分光特性を有しており、2波長レーザ光1の長波長成分と短波長成分とでは反射率が異なるのが一般的である。この実施例では試料4の反射分光特性を測定するために、ハーフミラー7で分離した2波長レーザ光1の一部をさらにミラー11で分離し、その分離された2波長レーザ光1の長波長成分強度と短波長成分強度とを分光センサ12で測定している。分光センサ12は2波長レーザ光1を回折する回折格子121と、長波長成分の回折角度の位置と短波長成分の回折角度の位置とに配置される光検出器122および123とを含んで構成される。

【0016】試料4に照射される2波長レーザ光1の長波長成分強度と短波長成分強度とは既知であるので、光検出器122および123の出力より、各々の波長に関する反射分光特性がわかる。したがって、光強度補正回路131により分光センサ10の光検出器103の出力を分光センサ12の光検出器122の出力で割り、光強度補正回路132により分光センサ10の光検出器104の出力を分光センサ12の光検出器123の出力で割ることにより、光強度補正回路131および132からは試料4の反射分光特性の影響が補正された長波長成分強度と短波長成分強度とが得られる。これら試料4の反射分光特性が補正された長波長成分強度と短波長成分強度との差を高さ演算回路14で演算することにより、試料4の反射分光特性によらず試料4の高さを求めることができる。

【0017】この実施例では2波長レーザ光を用いているが、より多くの波長成分を含むレーザ光を用いてもよ

6

く、その場合より広い高さ検出範囲とより高精度な測定が期待できる。また、この実施例では2波長同時発振する1台のレーザ光源を用いているが、異なる波長を発振する複数台のレーザ光源を用いて、ダイクロイックミラーのような波長選択性のあるミラーを用いて複数のレーザビームを合成してもよい。

【0018】この実施例では2波長の結像面間にある高さは演算によって補間しているが、より高精度の測定を行うには、高さ測定分解能に等しい間隔で結像面を移動させ、各々の位置で画像を取り込み、最大輝度となる結像面の高さを求める方法も有効である。このような方法でも、1波長で光学的な断面観察を行うのに比べ、この実施例で示すように2波長のレーザ光を用いれば、画像の取り込み回数は1/2になり測定時間を短縮することができる。前述のように、より多くの波長成分を含むレーザ光を用いれば、画像の取り込み回数は1波長で行うのに比べ1/N(Nはレーザ光に含まれる波長成分の数)になり、測定時間が大幅に短縮される。

【0019】図4は本発明の別の実施例を示す構成図である。図4を参照すると、この実施例は、異なる波長のレーザ光を発振する4台のレーザ光源151~154から出射されるレーザ光161~164をダイクロイックミラー171~179を用いて合成している。また、レーザ光161~164を検出する分光センサ18は、レーザ光161~164をコリメートするコリメートレンズ181と、レーザ光161~164を回折し分光する回折格子182と、レーザ光161~164の波長の回折角度に対応する位置に設けられている光検出器183~186を含んで構成される。また、試料4の反射分光特性を補正するための分光センサ19は、レーザ光161~164を回折し分光する回折格子191と、レーザ光161~164の波長の回折角度に対応する位置に設けられている光検出器192~195を含んで構成される。分光センサ18および19の出力は光強度補正回路201~204に入力され各々の波長成分の補正された光強度が得られる。図4に示す3次元形状測定装置によれば4つの異なる結像面を同時に観察することになるので、光学的な断面観察で3次元形状測定を行う場合、1波長での測定に比べ画像の取り込み回数は1/4ですむ。

【0020】また、連続スペクトルを有する光を用い、分光センサによって光強度がピークとなる波長を検出することにより、高さ測定を行うことも可能である。

【0021】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、複数波長を含む光と色収差対物レンズとを用いることにより、異なる結像面の画像を同時に検出できるので、試料の3次元形状測定を高速に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

50



(5)

特開平 7-229720

6/7

7

8

【図1】本発明の一実施例を示す構成図である。

【図2】この実施例における2波長レーザー光の集光の様子を示す側面図である。

【図3】この実施例における試料の高さと光強度との関係を示すグラフである。

【図4】本発明の別の実施例を示す構成図である。

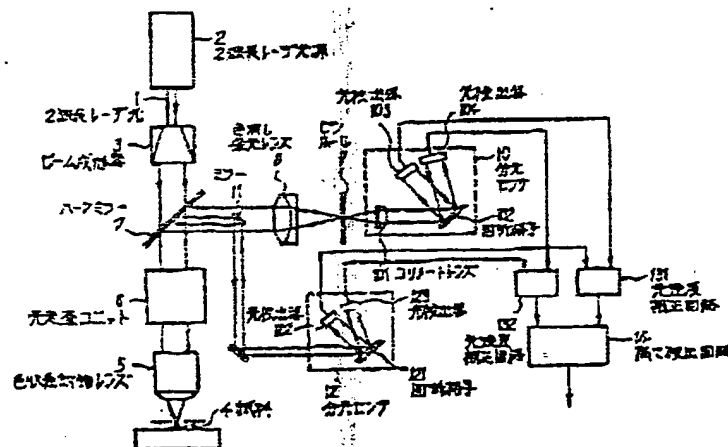
【図5】従来例を示す構成図である。

【符号の説明】

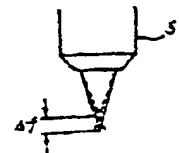
- 1 2波長レーザー光
- 2 2波長レーザー光源
- 3 ビーム成形器
- 4 試料
- 5 色収差対物レンズ
- 6 光走査ユニット

- 7 ハーフミラー
- 8 色消し集光レンズ
- 9 ピンホール
- 10, 12, 18, 19 分光センサ
- 101, 181 コリメートレンズ
- 102, 121, 182, 191 回折格子
- 103~104, 122~123 光検出器
- 11 ミラー
- 131~132, 201~204 光強度補正回路
- 10 14 高さ検出回路
- 151~154 レーザ光源
- 161~164 レーザ光
- 171~173 ダイクロイックミラー
- 183~186, 192~195 光検出器

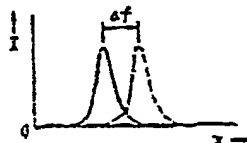
【図1】



【図2】



【図3】



【図5】

